

## RS485 網路溫度表模組設計 RS485 Network Thermometer Module Designed

林宏偉 余嗣英 鄭治中  
Hung-Wei Lin, Szu-Ying Yu, Chiz-Chung Cheng

黎明技術學院電機系  
Department of Electrical Engineering, Lee Ming Institute of Technology

### 摘要

本篇研究旨在建立網路式量測平台，特別針對網路的通訊介面、設備之間的通訊協定、類比轉數位電路設計、量測線性化等重要議題，因此如何開發出低成本高效能並具國際競爭力的恆溫控制器，是本研究所致力的目標。

**關鍵詞：**RS-485、溫度表模組、線性化

### ABSTRACT

This research is for the purpose of building the network type temperature measure platform, specially at communication interface, protocol, A/D converter ,and linearization . How develops the low cost and the high efficiency and the international competitiveness temperature controller is very important.

**Keywords:** RS-485, Thermometer Module, linearization



## 1.前言

根據台灣經濟研究院的研究報告顯示，單恆溫控制器一項產品在台灣一年的進出口總額即可達 20 億台幣，又隨著科技的日新月異，工業的快速發展，許多產業為了不被汰換，皆致力於提昇自我產品競爭力，其不外乎提高產能、降低成本及品質穩定等，產品的生產過程中環境溫度是否恆定是關鍵之一。

綜觀整個恆溫控制器的市場，目前市面上種類眾多，功能亦不斷的更新與加強，但溫度控制速度過慢、環境因素影響控制結果、精確度要求越高等問題，使得恆溫控制器仍有很大的發展空間。尤其目前之產品多以美日進口為主，經反覆的測試與驗證以及對整個市場的審慎評估，發現要與國際大廠並駕齊驅甚至超越並非難事，因此如何開發出低成本高效能並具國際競爭力的恆溫控制器，是本研究所致力的目標。

## 2.研究動機與目的

溫度是七大物理基本量之一，與人們的生活是息息相關，溫度對人們的影響有多大？為何要達到恆溫控制？何處需要恆溫控制？在工業中，溫度將影響產品的品質與良率，甚至工作環境的安全。在農林漁牧業中，溫度將影響動植物的生長。在休閒服務業中，溫度的高低會影響人體舒適感及健康狀況。在 3C 產品中，溫度可使生活更便利[1]-[2]。

但隨著應用場合的不同對溫度的要求也有很大的差異，如工業產品生產過程中，溫度往往需要達到幾百度甚至上千度，並且對溫度的穩定要求非常高；大樓空調溫度控制的要求便較為寬鬆，一般都介於 15 至 30 度，且對溫度穩定相較於工

業需求要來的低；部份溫控場合需要透過網路將分散的控制器統一經由中央控制電腦來管理。因此，為了滿足各個領域的要求，勢必要將市場作區格與定位。市售恆溫控制器可區分為三類，詳細說明如下。

簡易型 ON/OFF 控制：簡易型恆溫控制器多用於受控環境溫度不高或是對溫度的準確性要求不大的環境，其控制原理較為簡單，溫度太低則將加熱源全功率輸出，溫度過高則關閉加熱源。精確型 PID 控制、FUZZY 控制：精密型恆溫控制器多用於高溫環境或溫度需快速且穩定的達到目標的環境，此類型的應用對控制器的功能要求也較多，如溫度顯示與設定、網路傳輸及程序控制設定等。為了達到快速且穩定的溫度控制，其控制方法多採用 Fuzzy 及 PID 演算法則[3]-[7]。網路控制型：此類型是目前國際恆溫大廠的發展重點，除了前兩類型的功能外多了智慧型控制及網路控制的概念。網路控制系統是將不同地域的傳感、控制、執行等分佈物件通過網路連接起來，而形成更加靈活、功能更為強大。

## 3.系統實現之探討

以下針對本系統介紹，其中包含實現網路式溫度精密量測之控制系統與高精度溫度控制器製作流程。

### 3.1 網路傳輸架構

#### 3.1.1 RS-485 介紹

RS-485 是串列資料介面標準，最初都是由電子工業協會制訂並發佈的，它是為彌補 RS-232 之不足而提出的電氣特性，圖 1 說明 RS-485 電氣特性。為改進 RS-232 通信距離短、速率低的缺點，RS-485 資料信號採用差分傳輸方式，也稱作平衡傳輸，將傳輸速率提高到 10Mb/s，傳輸距離



延長到 1219.2 公尺，並增加了多點、雙向通信能力。

從圖 1 我們知道使用差動傳輸方式的 RS-485 利用  $V_{AB}$  兩端的電壓差判斷 0 或 1 與而且有  $\pm 200\text{mV}$  的抗雜訊區域。

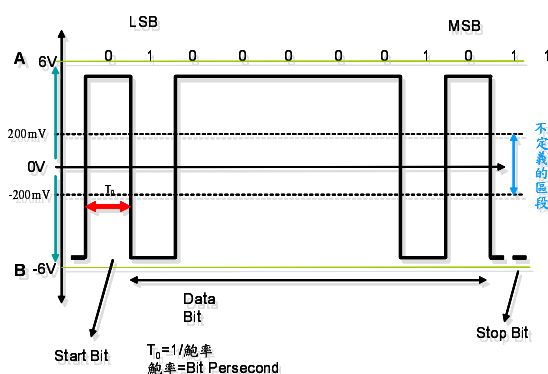


圖 1 RS-485 電氣特性

工業上多採用串列通訊來作為資料傳輸介面，但工業環境會有雜訊干擾傳輸線路，RS-485 正好解決了這個問題，再加上其電氣特性較 RS-232 適合用於工業環境及目前工業設備多以 RS-485 當作傳輸介面，因此本文採用 RS-485 作為 MODBUS 網路傳輸介面[8]。

### 3.1.2 Modbus 協定

Modbus 協定最初由法國 Modicon 公司開發出來，現在 Modbus 已經是工業領域最流行的協定。許多工業設備，包括 PLC 及智慧型儀器表等都使用 Modbus 協定作為之間的通訊標準。不同廠商生產的控制設備可以利用 Modbus 協定連成工業網路，進行集中監控[9]。Modbus 協定包括 ASCII、RTU 等，此協定定義了控制器能夠認識和使用的訊息結構，而不管它們是經過何種網路進行通信的。

Modbus 的 ASCII、RTU 協定規定了訊息、資料的結構、命令和回應的方式，資料通訊採用主控 (master) / 從屬 (slave) 方式，主控端發出資料請求訊息，從屬端

接收到正確消息後就可以發送資料到主控端以回應請求；這二種的差異只是格式序列和錯誤檢查碼及位址解釋的不同，在資料傳輸速度上 Modbus-RTU 是 Modbus-ASCII 的二倍。

### 3.1.3 Modbus-RTU 協定

本文為了因應往後能擴充為多台控制器網路監控，網路傳輸資料量較大，故採用 RTU 協定，RTU 模式如下：

#### ◎ 編碼方式

- 8 位元的二進制或十六進制
- 每筆 8 位元的信息包含兩個十六進制字元

#### ◎ 每個位元組格式

- 1 個起始位元 (start bit)
- 8 個資料位元由最低有效位元 (LSB) 先傳
- 1 個同位元檢查，當有同位元檢查功能
- 1 個終止位元 (stop bit)

#### ◎ 循環冗餘檢查碼 (cyclic redundancy check, CRC)

當主控端欲讀取或改變從屬端的資料，須將從屬端站號、功能碼及不同功能碼所得資料一起經過運算得到 CRC 錯誤檢查碼，並依 RTU 訊息傳送格式傳送。從屬端接到訊號後會先檢查站號是否正確，錯誤則放棄該筆訊息，如站號正確則檢查 CRC，並對訊息做解碼，如果接收到的命令是錯誤的必須向主控端回送訊息，訊息中包含從屬端站號、功能碼+80H、錯誤碼及 CRC 檢查碼。

若站號及命令皆正確，則依功能碼之規定完成其功能動作並回傳一筆相對應於該功能碼之訊息給主控端，以告之主控端該筆訊息已經處理完畢可再傳送下一筆訊息。一段時間後如主控端未接收到回應訊息或錯誤訊息，此時主控端會將原本的訊



息再傳送一次，直到有回應為止。圖 2 為主控端與從屬端資料傳輸示意圖。

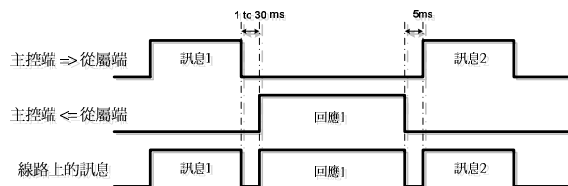


圖 2 為主控端與從屬端資料傳輸示意圖

### 3.1.4 循環冗餘檢查碼 (Cyclic Redundancy Check, CRC)

為了確保資料於傳送過程發生的錯誤不會影響系統正常運作，傳送與接收的雙方必須對資料作進一步的確認，最簡單的方式就是使用所謂的循環冗餘檢查碼，簡稱 CRC 檢查碼。目前常使用的 CRC 有八位元的 CRC-8、十六位元的 CRC-16 及三十二位元的 CRC-32，CRC 位元數越大傳輸資料越不容易受干擾，但相對的所花費的計算時間會較長[10]-[11]。為了在正確率及計算時間上取得平衡，本文所使用的錯誤檢查碼是 CRC-16，計算過程如下：

- (1) 預設兩個十六位元的暫存器，其值皆設為 0xFF，稱為 CRC 暫存器。
- (2) 把第一個 8 位元資料與 CRC 暫存器的低 8 位元做互斥或，其結果存回 CRC 暫存器的低 8 位元。
- (3) 將 CRC 暫存器的內容右移一位元，並檢查是否溢位。
- (4) 如果溢位，CRC 暫存器與 0xA001 作互斥或，結果存回 CRC 暫存器；如果沒有溢位，重覆步驟 3。
- (5) 重覆步驟 3 和 4，直到右移 8 次，第一個 8 位元資料全部計算完畢。
- (6) 重複步驟 2 到步驟 5，對下一筆 8 位元資料進行計算。
- (7) 依上述步驟完成所有的資料計算，再將 CRC 暫存器的高低位元組交換，所得 CRC 暫存器內容即為 CRC 檢查碼。

## 3.2 主控端監控軟體

本文以 visual basic 6.0 為開發軟體所設計之 Modbus 主控端通訊介面 [13]-[15]，以方便溫控系統開發人員設定溫度控制器內部相關功能參數，如溫度範圍、感測器類型及控制器型式等，如此能以同一硬體電路依不同的受控環境透過軟體參數的設定來達到產品功能的區隔，不需更改硬體設計或重新燒錄微處理器程式。其中畫面分 4 個部分，以下將詳細介紹：

- (1) 主控端命令傳送設定區，包含站號、功能碼、起始位置、資料數量及 CRC 檢查碼。隨著所選擇功能碼的不同起始位置及數量會改變其限制範圍，當所有的命令功能都決定後，系統會即時算出 CRC 檢查碼。
- (2) 從屬端資料回傳顯示區，包含站號、功能碼、數量、資料內容及 CRC 檢查碼。當從屬端有回應，系統會對訊息檢查 CRC，確認無誤後將訊息解碼顯示出來。
- (3) 此區經由 RLPV 及 RLSV 兩按鈕可直接送出命令不需經過畫面 1 的各項設定可直接顯示溫度控制器的環境溫度值 (PV) 及溫度控制命令設定值。
- (4) 顯示傳送與接收資料、單筆命令傳送按鈕及連續命令傳送按鈕。

上述軟體介面僅用於系統開發階段，一般使用者之溫控系統人機操作介面，透過此介面可即時顯示溫度、控制器型式及感測元件類型等訊息，並能直接於電腦端下達溫度設定值，達到遠端監控的目的。

## 3.3 高精度嵌入式微控制器設計

### 3.3.1 感測電路與 A/D 轉換電路設計

溫度感測器可概分熱電偶、電阻式與熱敏電阻，業界一般常使用的為熱電偶。熱電偶是工業上最常用的溫度檢測元件之



一，其優點是：測量精度高。因熱電偶直接與被測物件接觸，不受中間介質的影響。測量範圍廣，常用的熱電偶從-50~1600°C均可測量。構造簡單，使用方便。

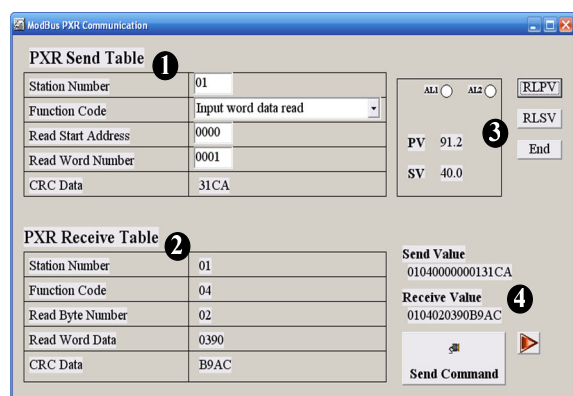


圖 3 Modbus 主控端通訊介面

熱電偶是由兩種不同材質的金屬或合金利用居間物質定律產生低電壓 (mV) 再依據電壓大小來判斷被測物之溫度，而其準確度和範圍就與材質有非常大的關係。熱電偶的測溫點在於兩種不同金屬所連接的熱接點，因此在研究人員不斷研究下發現還需要兩種金屬間的電性反應式熱電敏度要有相當的差距才行，因此美國國家標準協會 (American National Standards Institute; ANSI) 制定了一些規定，並列出各種標準熱電偶的型式。

目前被實用化的熱電偶中，以 JIS C1602-1981 規格化的 B、R、S、K、E、J 與 T 等七種最為普遍。而熱電偶所產生的電動勢是微弱的電壓，因此一般都是轉為 0~5V、1~5V、4~20mA 等統一化信號。

### 3.3.2 室溫補償

在工業計測上，經常使用測溫電阻或是二極體等測試基準接點的溫度，在將該溫度所相對的電壓值加在熱電偶電動勢上作為補償，由於感測器訊號很小，須設計一個訊號放大電路將訊號範圍放大，另外

還須考慮室溫對溫度量測之影響而增加一室溫補償電路圖，再一併將此二訊號接至微處理器之 A/D 訊號轉換模組。

在業界通常使用熱電偶型式為 K-type 與 E-type，國內也有自製熱電偶廠商，目前以 K-type 為主。

### 3.3.3 感測器訊號抗雜訊對策

由於熱電偶所產生的熱電動勢極低 (一般約數  $10\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ )，加上溫度控制器與測溫場所通常相隔甚遠，因此所要檢測出的感測信號電壓更加的微弱，相形之下雜訊位準 (Noise level) 變得十分大。

又在傳送途徑之上，為了避免製造另一個熱電偶特性，如圖 4 所示，所以導線必須是熱電偶相同材質的補償導線。所以在後級信號處理系統上要十分細心，為了避免雜訊的干擾，得以使用具有屏蔽效果的補償導線，或者加上濾波器，因為雜訊對於感測訊號而言是屬於一種高頻的訊號，所以可利用兩者訊號頻帶的差異性，而使用低通濾波器來消除雜訊。

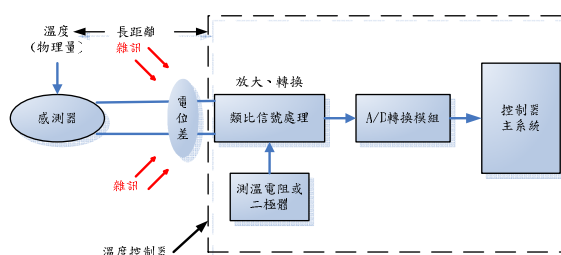


圖 4 熱電偶補償電路

通常濾波器可分為主動式與被動式，通常主動式濾波器的電路裡則含有 OP 放大器，若一階主動式濾波器的功能，可使用高階被動式濾波器取代，在兩者方式所可達到的效果的前提之下，採用高階被動式濾波器可節省電路成本。

### 3.3.4 低速高精度 A/D 轉換

感測器 (Sensor) 對物理量的變化會變換成電阻、電流或電壓等形式之變化





量，最後需以一轉換電路轉換成電壓輸出，而電壓信號要供給微控制器作處理或判斷，必須經由 A/D 轉換電路轉換成數位信號，然後才可以經由微控制器進行處理做各種自動化控制的應用，其方塊圖如下圖 5：

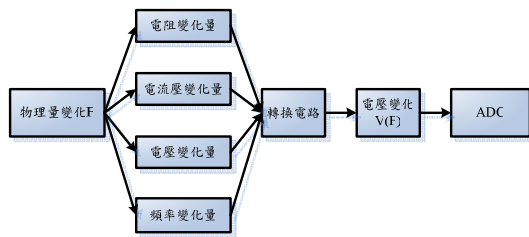


圖 5 感測器信號 A/D 轉換示意圖

A/D 轉換器是由類比電路和數位電路組合而成，其 A/D 轉換器的性能，主要是由準確度(正確性)和轉換時間來決定的。一般而言現今市面上或各大製作溫度控制器的廠商，大部分都是利用數位類比轉換 IC，來達成轉換數位信號的目的，而高精度數位類比轉換 IC 通常較貴，為了降低商品成本，所以許多廠商改採用 10 或 12Bits 的 A/D 轉換 IC，因此犧牲量測的準確度。

基於以上種種理由，本研究為了製作高精度溫度量測，捨棄使用數位類比轉換 IC 的方式，採用低速 A/D 轉換電路，一方面可以節省電路成本，另一方面可以達到高準確度信號量測，其 A/D 之解析度可達 16Bits。

## 4.量測線性化與實驗結果

### 4.1 量測線性化

在理想上，倘若忽略雜訊對於感測電路的影響，則熱電偶 K-Type 上的溫度變化，所對應熱電動勢值的變化，應呈現為線性之特性，然而並非無如此，在理想上與實際上的熱電動勢會有些許的誤差存在，在經過後級之放大電路之後，其溫度

誤差會更加的明顯。

除了熱電偶具有非線性特性之外，在感測電路之上，測試基準接點溫度的測溫電阻與二極體，以及放大器與其他類比電路，也同樣具有非理想的特性存在。要將其非理想特性影響降低之方式有許多，如選用低漂移的 OP、誤差較低的精密電阻、或是使用線性化的電路，還可使用程式線性化之方法，將其非線性特性影響降至最低，甚至達到誤差為零。

假如使用硬體的方式，來消除溫度的非線性特性，會造電路成本增加，如果電路非線性的情況太嚴重，仍然無法將溫度誤差消除，就得利用軟體程式的方式，來使改善非線性溫度誤差。

### 4.2 實驗結果

本研究採用軟體分段線性化的方式，將程式模組化，使原始碼縮至最省記憶體空間，又可使溫度誤差達到工業標準；一般工業量測溫度的標準為：溫度未達 100℃，以溫度誤差 $\pm 1^\circ\text{C}$ 為標準。溫度為 100℃以上，以溫度誤差 $\pm 1\%$ 為標準。

將 0 至 1000℃分為 3 段作測試，以標準件送出標準溫度信號作測試，分別為 0~100℃每 1℃、100~400℃每 5℃、400~1000℃每 10℃與量測一次，其線性化前與線性化後的實際測試結果。最後實測結果無論在低溫未達 100℃表現，或高溫為 100℃以上，均能達成工業標準規格之設計，如圖 6~圖 10 中。

## 5.結論

綜觀整個恆溫控制器的市場，目前市面上種類眾多，功能亦不斷的更新與加強，但溫度控制速度過慢、環境因素影響控制結果、精確度要求越高等問題，使得恆溫控制器仍有很大的發展空間。本研究



開發出低成本高效能並具網路功能之高階溫度控制器，是極具有國際競爭力的恆溫控制器，如何提昇轉換速率與穩定性仍是下階段再追求的最主要的目標。

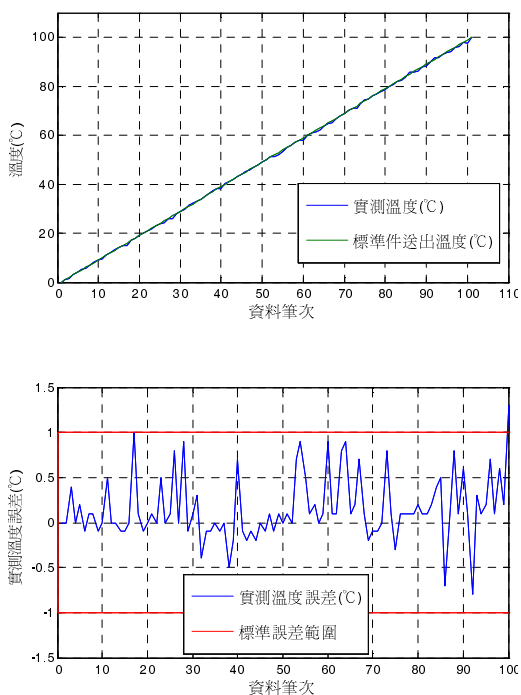


圖 6 線性化後 0~100°C 每 1°C

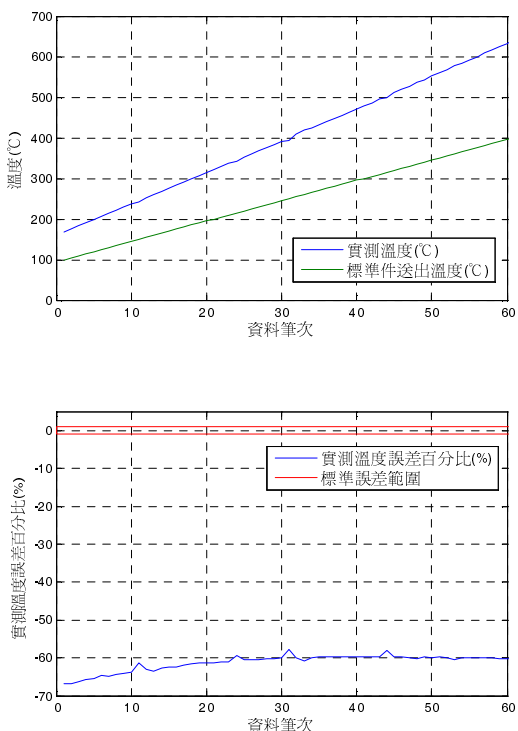


圖 7 線性化前 100~400°C 每 5°C

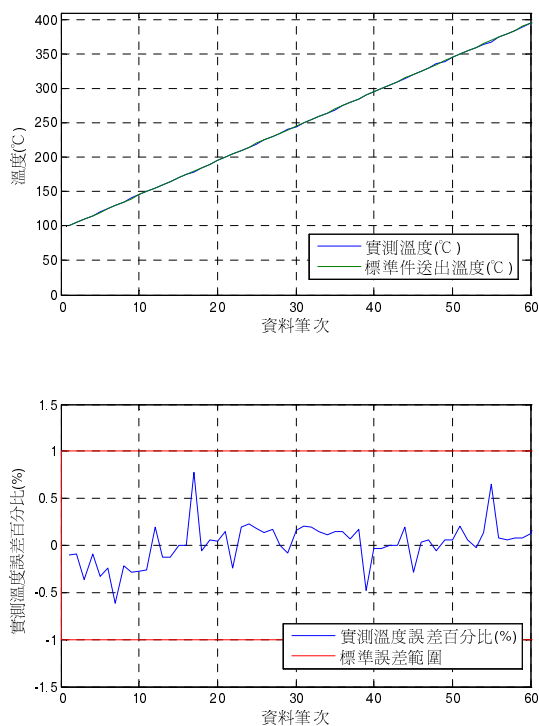


圖 8 線性化後 100~400°C 每 5°C

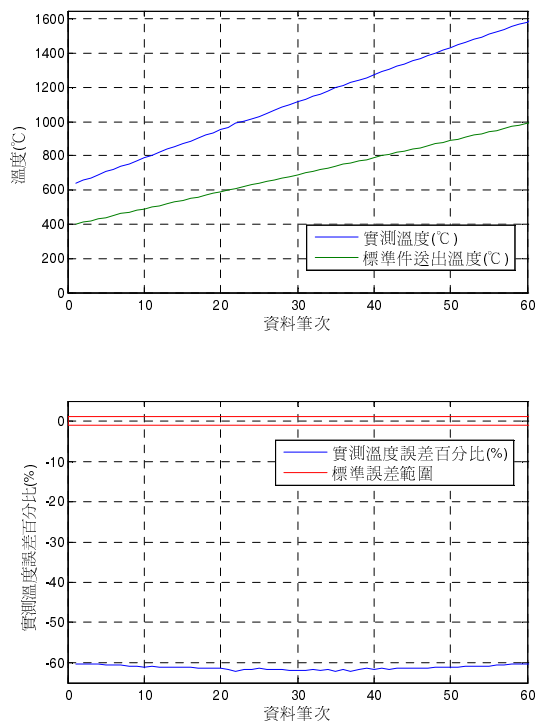


圖 9 線性化前 400~1000°C 每 10°C



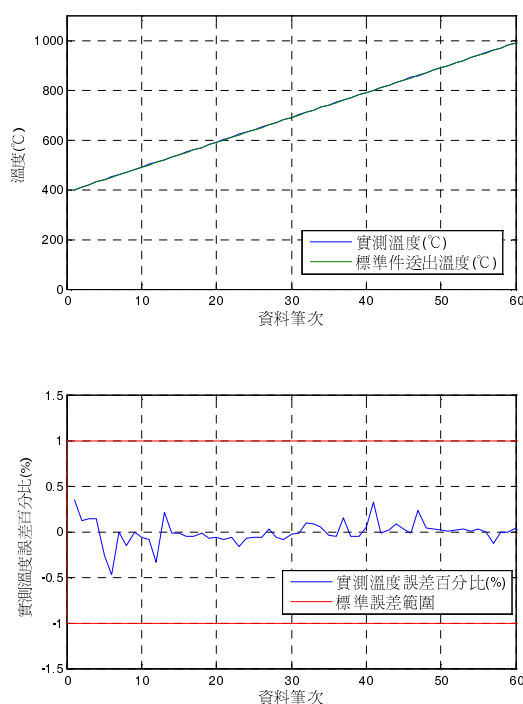


圖 10 線性化後 400~1000°C 每 10°C

### 參考文獻

1. Nomikos, P.E., Smith, L.S.P.S., 1990, "Adaptive temperature control of industrial processes : a comparative study," *IEE Proceedings*, vol.137, pp.137-144, 1990.
2. Akgun, B.T., "An application of temperature controlling," *IEEE, Electrotechnical Conference*, vol.2, pp.1137-1140, 1996.
3. Dogan, L., *Microcontroller based temperature control*, Newnes, 2002.
4. Åström, K.J. and Hagglund, T., "The future of PID control," *Control Engineering Practice*, vol. 9, pp.1163-1175, 2001.
5. Åström, K.J. and Hagglund, T., "Revisiting the Ziegler -Nichols step response method for PID control," *Journal of Process Control*, vol. 14, pp.635-650, 2004.
6. Visioli, A., "Modified anti-windup scheme for PID controllers," *IEE Proc.-Control Theory Appl.*, vol.150, pp.49-54, 2003.
7. Bohn, C., Atherton, D.P., "A simulink package for comparative studies of PID anti-windup strategies," *IEEE, Computer-Aided Control System Design*, pp.447-452, 1994.
8. Kaliyugavaradan, S., "A microcontroller-based programmable temperature controller," *Industrial Electronics, Control and Instrumentation*, vol.1, pp.155-158, 1997.
9. MODBUS.ORG, MODBUS over serial line specification & implementation guide v1.0, <http://www.modbus.org/>.
10. Coughlin, R.F., Driscoll, F.F., *Operational amplifiers & linear integrated circuits*, Prentice-Hall International, Inc, 1993.
11. 施威銘研究室(2003), <2003 最新網路概論>, 《旗標》。
12. 范逸之、陳立元,(2002), <Visual Basic 與 RS-232 串列通訊控制新版>, 《文魁》。
13. 范逸之,(2002), <Visual Basic 與分散式監控系統：使用 RS-232/RS-485 串列通訊>, 文魁。
14. 黃世陽、吳明哲,(1998), <Visual Basic 6.0 學習範本>, 《松崗》。
15. Gary Cornell 原著, 和碩科技編輯部譯,(2001), <VB6 程式設計從零開始>, 《和碩科技文化有限公司》。

